

# 持続資源としてのプラスチック材料

——ケミカルリサイクル事例を中心として——

林 隆 紀

## 〔抄 録〕

プラスチックは 20 世紀後半から驚異的な勢いで普及し、今では現代生活に欠かせない材料となっている。その一方でこの材料の大量廃棄は環境破壊や健康被害を引き起こし、循環型社会形成に大きな課題を投げかけている。本稿ではプラスチック材料に内在するコンフリクトの認識を出発点に、持続資源として社会に供するために克服すべき課題を探った。まずプラスチックリサイクルの現状を整理し、望ましい循環と成り得ていないリサイクル事情について指摘した。続いてプラスチック製品の中でもとりわけ取り組みの進んでいる廃 PET ボトルの動向について、原料化ケミカルリサイクルの事例を取り上げ、真のループを阻む要因についての分析を行った。その結果、安定したリサイクルシステムの確立にはグローバル市場経済の負の影響を制御できる因子の検討が必要であることがわかった。

キーワード 循環型社会、プラスチック資源、ケミカルリサイクル、ボトル to ボトル、デポジット制

## 1. はじめに

### 1.1. 多様化する材料

20 世紀はまさに科学技術の世紀と呼ばれ、欧米および日本を中心に石油化学産業が花開いた。これらの技術のおかげで先進諸国における利便性は飛躍的に増大したが、同時にエネルギー消費量、環境破壊の影響も莫大なものとなった。特に化石資源の大量燃焼、大量使用は、二酸化炭素の激増と天然資源の枯渇という負の遺産を将来世代にもたらすこととなった。そのため、我が国では 21 世紀初頭から国を挙げて「循環型社会」を目指すこととし、現在もその構築に向けて様々な取組を進めている。さらに世界的な気候変動への対策から、近年では低炭素社会へ向けた方策も活発に議論されている。

そのような中であって、生活の多様化と相まって多種多様なものから成る「材料」の在り方を見直すことは「低炭素循環型社会」形成にとって重要な意味を持つ。本稿では特にプラスチック材料に焦点を絞り、リサイクルを中心に現状分析し、課題抽出を行い、次世代の展望について検討する。

我が国は高度経済成長による大量消費社会の出現によって、国民の平均的生活レベルも向上し、多くの「ヒト」が多くの「モノ」を所有する時代を迎えることになった。そして今日、我々の身の回りにはあらゆる種類の材料からできた製品が溢れている。たとえば皿一つにしても専門店、デパート、ディスカウントストア、スーパーマーケット、コンビニエンスストア、100円均一ショップなど様々なスタイルの店舗から、色々な材質、形状、価格帯のものが選べるようになってきている。一方で日々大量に生産されるこれら商品はやがて廃棄されるため、廃棄量も同時に莫大なものとなってきている。そのため時が経つにつれ、これら廃棄物は環境汚染や環境破壊を引き起こし、さらには資源枯渇も懸念され始めることになった。ここに至ってようやく、材料は適切に利用されるだけでなく、適切に循環、あるいは処理することの必要性が認識されるようになったのである。その結果、我々は商品購入の際、ニーズやコスト、嗜好のみならず、環境影響についても考慮する必要が出てきた。

## 1.2. 生活者と材料

大量消費社会において、商品やサービスを購入する存在は一般に「消費者」と呼ばれている。マーケティングにおいて「生産者」と相対する概念として用いられ、「消費者運動」、「消費者センター」など様々な形で使われ、広く浸透してきた。しかし近年では「生活者」<sup>(1)</sup>という表現が「消費者」と同様、あるいはそれを進化させた用語として用いられる場面も多くなってきた。2009年に発足した消費者庁のパンフレットの序章にも、「消費者・生活者が主役となる社会の実現」という表現がみられる。

このことについて天野は、「消費者を含めて、ほかの言葉ではいいつくせない何かがあるからこそ、この言葉が生まれ、選ばれて使われるのである」と述べている（天野 1996：7）。単に消費するだけの存在ではなく、多様な価値観からの自発的選択、およびそれに伴う主体性のある生活行動をなし得る存在としてイメージされているようである。そのため近年では環境影響を考慮して材料を扱う（購入－使用－廃棄などトータルに判断する）ことを求められる状況において、「消費者」より「生活者」という表現が多用される傾向がみられる。

それではこのような生活に根差した形で材料と向き合うことが要求される我々「生活者」は材料とどのような関係を取り結んでいるのであろうか。先に示したように過去50年余りで我が国の工業技術は大いに進展し、便利な機能を持った様々な材料が登場してきた。形状、用途が簡潔なものであっても、その素材は多岐にわたり、場合によっては“複合化”と呼ばれる異なる特性、環境影響をもつものの混合材も現れた。さらにこれまで自然界にはなかった素材も

日夜産み出され、「モノ」の世界は百花繚乱の様相を呈している。特に本稿で取り上げるプラスチックは現代の材料を象徴しているものであるといえよう。筆者は以前、この新規素材に対して「生活者」がもつ認識を検討した。その結果たとえば飲料容器などでの素材比較では、紙、金属などに比べてもっとも利用頻度が高い半面、環境負荷への懸念ももっとも高いという結果を得た(林 2009: 35)。すなわちプラスチックに対する認識には利便性と環境高負荷性というコンフリクトが存在していることが明らかとなったのである。さらに多くの一般「生活者」にとって、「プラスチック廃棄物=有害物質」の認識はその種類や処理方法に関わらず、根強いことも判明した。

### 1.3. プラスチック材料に対するコンフリクト

本稿では、生活者がコンフリクトを持つ原因が、プラスチック材料への知識の欠如と、複雑な循環システムの難解さにあるのではないかという気づきから出発し、現時点でこの課題を明らかにすることを試みた。第2節ではプラスチックリサイクル全般について概観し、国際的にも大きく喧伝している3Rイニシアチブの理念が表面的にしか生活者に理解されていないことに言及したい。第3節では3R政策のRecycleの概念について取り上げ、特にケミカルリサイクルのカテゴリーのあいまいさ、矛盾点について指摘する。第4節ではプラスチックリサイクルの中でもとりわけ取り組みが進んでいるPETボトルリサイクルに焦点をあて、「原料化」を軸としたケミカルリサイクル産業のケーススタディを行い、その位置づけと課題を詳細に吟味する。第5節では、リサイクルの現状の課題を分析し、長期的視野に立った材料資源化の在り方の模索を、最新の動向とともに検討する。

## 2. プラスチックリサイクルについて

### 2.1. プラスチック材料について

我が国では2000年より循環型社会形成推進基本計画に従って、物質循環の法整備を進めてきた。高度経済成長期には、大量生産、大量消費を軸とする社会が出来上がってきたが、やがて負の側面、すなわち資源枯渇、環境破壊、人為的要因による気候変動など、多くの環境資源問題が顕著となり、持続可能な社会の構築が急務となったからである。

高度経済成長期、ならびにバブル経済期を経て国民の生活レベルが大幅に向上し、それに伴って物質使用量も大幅に増加した。中でも石油由来の合成プラスチック材料は爆発的に普及することになった。今日ではプラスチックはありとあらゆる分野に利用され、その存在はもはや現代生活に欠かせないものとなっている。このようにプラスチック材料が短期間で普及した理由として、その優れた特性と経済的利点が挙げられる。まず、同強度を有する他の材料に比べ、圧倒的に軽量であることから多くの製品、部品の軽量化、小型化に多大な貢献をした。ま

た分子レベルでの設計が可能であることから製品特性を微妙にコントロールすることも可能となった。さらにそれらの優れた特性をもった数種のポリマーを複合することで、比較的容易に多機能型材料を造り出せたことも魅力の一つとなった。多くのプラスチックは低温での成型加工も容易で、かつ自然分解による劣化も起こりにくいというメリットも有していた。旺盛な石油資源の発掘に伴う石油化学工業の発展もこの材料の普及には追い風となり、経済的な視点からも非常に魅力的な材料であった。プラスチック材料は 20 世紀社会の象徴ともいえる大量消費社会を支える要素をふんだんに有していたといえよう。

## 2. 2. 現代社会の廃棄物

しかしこのことは同時に一般廃棄物量の急増も招くことになった。図 2-1 に我が国の一般廃棄物総排出量の変遷を示した。この図は厚生白書（1955 年～1991 年）、環境省廃棄物処理技術情報（1998, 2009 年統計表）の資料をもとに作成した。1955 年～1980 年までと 1981 年～2009 年までの算定方法が出典資料により異なっているため、この間の数値的な連続性はないが、重複している年度からの推察では、後半の排出量は前半の 2 割増し程度になっていることが確かめられている。

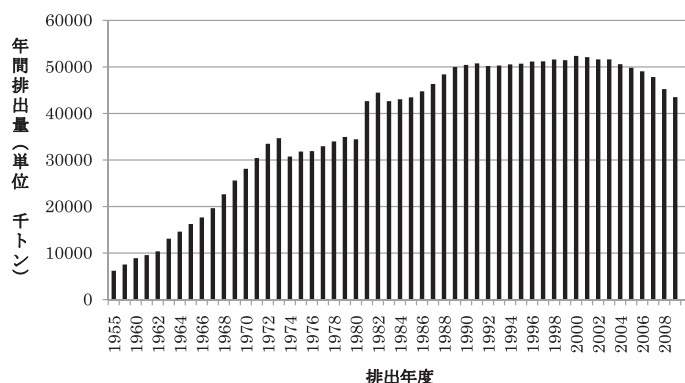


図 2-1 我が国の一般廃棄物の総排出量（厚生省、環境省の統計資料より作成）

この図から明らかなように、1950 年代半ばから 1970 年代初頭にかけての高度経済成長期には、一般ごみの排出量が右肩上がりに急増している。また 1980 年代半ばから 1990 年初頭にかけてのバブル経済期にも増加がみられる。このように廃棄物排出量は増加し続け、国土の狭い日本では近い将来に埋め立て処分場が不足する見通しが明らかとなった。また処分場での生活ごみの山積は病害虫の発生や雑菌類の繁殖を促すことにもつながった。この埋め立て処分場のひっ迫の懸念や衛生上の問題からごみの焼却処理も並行して積極的に進められ、その結果、日本のごみ処理方法は世界でも有数の焼却処理中心のものとなった。その後 1990 年代から廃棄物排出量は一定の値に落ち着き、ここ数年は逆に減少傾向にある。これは国民の「モ

ノ」所有に対する一段落、少子化、景気後退など数々の要因の複合的結果として表れているが、このまま減少傾向を維持できるとすれば、循環型社会構築のための各種の取り組みも浸透しつつあると評価できるかもしれない。それでもプラスチック処理促進協会によると、2005年度の先進国における一般廃棄物の総排出量比較では、米国に次いで2番目に多い値<sup>(2)</sup>を示している。この廃棄物量の増加がもたらした諸課題は我が国に大きな影を落とした。

### 2.3. プラスチック廃棄物

廃棄物の焼却処理が本格化すると、今度は健康被害の問題が顕在化し始めた。この主原因とされたのが、プラスチック系廃棄物による影響である。1972年度厚生白書によると、「一般廃棄物中におけるプラスチック系廃棄物の混入率上昇の問題は深刻な事態を招いている。」と記述され、すでに高度経済成長期にその芽が出始めていることがわかる。白書ではプラスチック系廃棄物の流入経路は60～80%が家庭からのものであると分析されており、この記述はプラスチック製品が一般家庭にすでに広く普及していたことを物語っている。この大量のプラスチック製品が使用済みとなり、廃棄物として扱われた時点で一転して我々に大きな課題を投げかけることになったのである。プラスチック処理促進協会が示すプラスチックごみの内訳には22種類の形状種別がなされており、その中身には100種類を超える内容物が例示<sup>(3)</sup>されている。このため、分別廃棄が非常に困難であることは明らかであった。また使用時に利点とされた軽量性、耐久性は、重量の割に容積がかさばり、かつ自然分解しないという欠点となり、処分場のひっ迫を招いた。さらにこれらが焼却処理に回ると、従来の小規模焼却設備による焼却では、燃焼温度の高さ、腐食性ガスの発生などによる炉材の損傷、異なるプラスチック素材の複合化や添加物の影響による有害な副生成物の発生による健康被害が指摘された。1996年、東京都杉並区では、操業を開始したごみ中継施設周辺で健康被害が起こり、この施設からの有害化学物質の排出の有無をめぐる裁判<sup>(4)</sup>となっている。また1997年には豊能郡美化センターにおいて高濃度のダイオキシンが検出され、全国規模の社会問題となった。これらの影響から一般生活者の意識にはプラスチック全般が環境負荷の大きい材料との認識が定着することになった。これは先に述べたプラスチックに関するひとつのコンフリクトを形成していると考えられる。筆者が2007年に行った生活者の材料に関する環境意識の調査においては、ポリエチレン製レジ袋の単独焼却によりダイオキシンが発生すると考える層が85%に達している(林2009: 40)。多くのポリエチレン製レジ袋には焼却により有害物質は発生しない旨の注意書きが書かれているが、現実的には理解されていない。ダイオキシンに関する直接的な危機意識はこの数年で顕著に減少し、最近の調査では「ダイオキシン」という用語自体を知らない割合が増加しつつあることが明らかだが、依然としてプラスチックが環境負荷の高い材料であるという認識そのものは当時と比べ大きく変化していない。

以前我が国では、汎用プラスチックは米国のガイドラインに従って、本体にSPIコードと

呼ばれる表示マークが記されていた。しかし一般生活者には区別が難しく、またポリエチレンテレフタレート（PET）を除く他のプラスチックにおいて、素材別のリサイクルシステムが現時点で生活者を巻き込む形で機能しているわけではないため、2001年施行の資源有効利用促進法によってその他プラスチックはすべて「プラ」のマークで統一されることになった。プラマークの下に材質表示がされている場合もあるが、これは推奨されているのみで義務化はされていない。そのためこれら一括りにされた廃プラスチック処理に関しては、多くの課題を残している。たとえば再生処理業者のヒアリングが行われている資料<sup>(5)</sup>を要約すると、①容器包装における製品について、プラスチックの成分を単純化すること、②品質表示を正確に詳細に明記すること、③塩素系樹脂の使用の制限、ないし撤廃を進めること、④消費者に分別しやすい仕組みを整備すること、などが要望として挙げられている。ここからも現行のプラスチック製品の組成の複雑さと、表示制度の未整備が適切な処理を妨げる大きな要因となっていることが読みとれる。

## 2.4. 3R と容器包装リサイクル法

1990年までの廃棄物排出量の増加、ならびに健康被害などの状況を受け、ゴミの発生そのものを抑制するべきであるという論調が次第に強くなってきた。そこで循環型社会形成基本計画に基づいて、廃棄物削減に関する様々な検討が開始された。中でも3R政策は基本計画の要であり、国際的にも3Rイニシアチブとして宣言し、その概念を主導しようとしている。その努力はある程度実り、今日ではReduce, Reuse, Recycleという3Rの用語は生活者の間で着実に浸透し始めている。ただしこれらの概念に優先順位がついていることは一般にはあまり認識されておらず、むしろRecycleが突出して意識されているというのが現状である。それどころか広義のリサイクルという表現がReuseも含めた形で認識されているため、システムの正しい理解を困難にしている状況がある。これは循環型社会の担い手となるべき生活者の仕組みへの参加に大きな障壁となっていると考えられる。

さて、2000年度の環境白書によると、一般廃棄物のうち、容積で6割弱が容器包装廃棄物であるため、その削減とリサイクルをごみ減量の大きな柱の一つに位置付けていることが明記されている。これらの事実は20世紀後半から指摘されてきたため、基本計画によって廃棄物に関する法律が体系づけられる少し前から、「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律」（容器包装リサイクル法）が議論され、1997年に一部施行、2000年に完全施行されている。図2-1において一般廃棄物量が2000年前後を境に増加が止まり、減少基調に変化しているのはこの効果もあると考えられる。

しかし全プラスチック生産量における容器類の割合は2000年前後から現在に至るまで多少の凹凸はあるものの増加基調にある。これを図2-2に示した。このことは容器包装リサイクル法がプラスチック材料の持続可能性を左右する重要な位置にあることを示唆している。

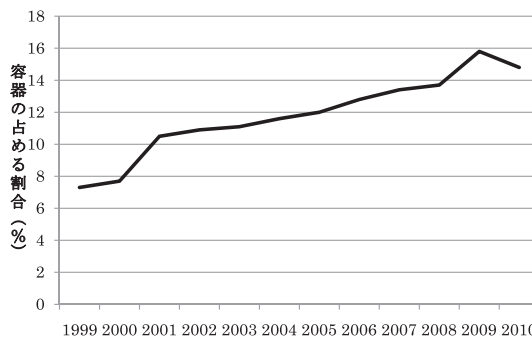


図2-2 全プラスチック製品生産量における容器類の占める割合  
(日本プラスチック工業連盟 統計資料より作成)

この容器包装リサイクル法は、日本で最初に **EPR** (拡大生産者責任) の原則を明らかにした点がもっとも評価されている。容器包装リサイクル法の具体的な成果としては、この **EPR** の導入実績以外に、消費者、自治体、事業者の役割分担の明言、資源リサイクル率の **9.8%** (1995年) から **20.5%** (2009年) への増加、さらに結果として得られた廃棄物の最終処分量の減少による一般廃棄物の最終処分場の残余年数の **8.5年** (1995) から **18.7年** (2009) への延命<sup>(6)</sup>などが挙げられている。ただし実質処分場の残余容量は依然として減少傾向にあり、この点の効果は限定的である。

これに対して浮かび上がってきた課題は多い。**EPR** 導入にあたり参考にされたドイツの法律に比べ、その負担の割合も不履行に対する罰則も仕組み作りも不十分であったため、多くの批判が集中した。そこで **2006年**の改正にあたって、審議会等では活発な議論がなされ、役割分担の見直しなどが焦点となった。山川らはこの見直しによって **EPR** の拡大が期待された改正容器包装リサイクル法について経済学的視点から検討を加え、結果として、「残念ながら **EPR** を発展させることにはなっていない」と述べている (山川 2006: 181)。これ以外にも、リサイクル推進に伴う自治体の経費増大、国の再商品化計画量との不整合、分別種別の複雑さからくる消費者のとまどい、分別収集後の取り扱いの不透明さなどが指摘されている。現状ではこの法律を軸にして容器包装に関する廃棄物の取り扱いが進んでいるため、その中核をなすプラスチック材料のリサイクルは同時に様々な課題を抱えていることになる。

### 3. ケミカルリサイクルの現状

#### 3.1. 3つのリサイクル

さて前節では **3R** の推進は循環型社会構築のひとつの柱であることを述べた。この中で **Reduce**, **Reuse** に関して、工業技術的には資源利用、生産の効率化、製品改良による耐久性の向上、軽量化<sup>(7)</sup>、また政策的にはデポジット化<sup>(8)</sup>、包装の簡略化などが対策として挙げられて

いる。土台となるのは、際限ない資源利用に対して抑制をかける生活者の意識の醸成である。それに対して **Recycle** は、物質循環に対する技術的、社会的挑戦であり、やや次元を異にする概念と捉えることができる。ここでは物質循環をより効率的に行うことで結果的に資源利用の抑制を促すことを目指しているのである。そのため、広く国民に呼びかける **3R** の理念では **Reduce** を最優先とすることが念頭に置かれている。

本稿で議論しているプラスチック材料に関する **Recycle** は、わが国ではさらにマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルに区別されている。一般に合成プラスチックはモノマーと呼ばれる原料にあたる低分子化合物を数多く重合させて合成するが、マテリアルリサイクルではプラスチックの化学構造を維持した状態のまま、分離精製し再生させる手法である。これに対し、ケミカルリサイクルではプラスチックの化学構造自体を変化させて再生する手法である。そしてサーマルリサイクルは言い換えればエネルギー回収であり、廃プラスチックを効率的なエネルギー源として再利用することを意味している。

廃プラスチック処理に関して、日本におけるこれら3つのリサイクルの推移を図3-1に示した。まず全体像をながめると、有効利用率は1990年の25%から2009年までに54ポイント上昇し、20年間で約3倍となっている。これは廃棄物削減への取り組み、特に1996年以降は容器包装リサイクル法の施行が功を奏していることが一因と考えられる。しかし2009年度において79%の有効利用率を達成したとはいえ、そのうち、53%がサーマルリサイクルで賄われていることもこのグラフから明らかであり、このようなエネルギー回収は純粋な意味でのリサイクルとは呼べないとの批判もある。

次にケミカルリサイクルの有効利用率の推移に注目すると、始まった1997年から2003年までは微増しているものの、それ以降はほぼ横ばいで総量の5%を超えていないことがわかる。再生過程でプラスチックの化学構造自体を変化させるため、ケミカルリサイクルは一般にはマテリアルリサイクルに比べ、エネルギー負荷が大きいと言われ、さらにコスト増や高度な技術が必要なことから、その導入が進まないとも考えられる。ただしいったん目的生成物が得られた場合、その品質は基本的には石油由来原料と同等と考えられ、再生過程でのエネルギー

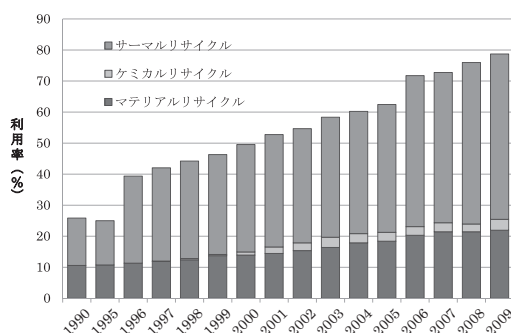


図3-1 廃プラスチックの有効利用率（プラスチック処理促進協会の資料より作成）



負荷が改善されれば、理論的には完全循環システムを構築するための理想的なリサイクルと呼べる可能性がある。それにもかかわらず多くの資料の記述を読み込んでも積極的な展開を進めようとする意図が感じられるものが少ないのはなぜだろうか。

この疑問から 3 つのリサイクルの分類についてさらに詳しく検討した。プラスチック処理促進協会による分類基準を表 3-1 に示す。左側に日本における分類、右側にそれに対応するヨーロッパでの呼び方が記されている。それによるとマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルはそれぞれがほぼ、**Mechanical Recycle**, **Feedstock Recycle**, **Energy Recovery** というカテゴリーに対応している。ここでヨーロッパではサーマルリサイクルに関して、**Recovery** という単語を用いて、**Recycle** と明確に区別している点が重要であると考えられる。日本のようにエネルギー回収をリサイクルという表現に置き換えることで、リサイクル率を高く計上することは本来の循環の意味を損ねることにつながる懸念がある。

さらにケミカルリサイクルは①原料・モノマー化、②高炉還元剤、③コークス炉化学原料化、④ガス化、油化と分類しており、一部は燃料となっている。表から明らかなようにヨーロッパにおける分類基準ではこれは **Energy Recovery** のカテゴリーに入るものとされ、リサイクルと呼ばれていないものを含むことになる。

また現状のケミカルリサイクルのカテゴリーもエネルギー利用原料としての再生が主で、生活者のところに製品の形で循環して戻ってくる割合は非常に少ないものと思われる。結果的にエネルギー利用に供する材料再生では、再生後の使用は基本的に一回限りであり、循環資源と呼ぶことはできない。言い換えれば高純度の原料ではあるものの、恒久的な循環をめざす形にはなっておらず、本来のケミカルリサイクルの利点が十分に活かせないことになる。これに対しヨーロッパでは近年、現状の **Feedstock Recycle** さえもリサイクル率の算定から外す方向で議論<sup>(9)</sup>されており、リサイクル定義に対する姿勢は対照的であると言える。

表 3-1 日欧における 3 つのリサイクルの分類  
(プラスチック処理促進協会 2011『プラスチックリサイクルの基礎知識』より引用)

分類（日本）	リサイクルの手法		ヨーロッパでの呼び方
マテリアルリサイクル （材料リサイクル）	再生利用・プラ原料化 ・プラ商品化		メカニカルリサイクル （ <b>Mechanical Recycle</b> ）
ケミカルリサイクル	原料・モノマー化		フィードストックリサイクル （ <b>Feedstock Recycle</b> ）
	高炉還元剤		
	コークス炉化学原料化		
	ガス化 油化	化学原料化  燃料	エネルギーリカバリー （ <b>Energy Recovery</b> ）
サーマルリサイクル （エネルギー回収）	セメント原燃料化  ごみ発電 <b>RDF RPF</b>		

さらにマテリアルリサイクルでは材料の再生利用（プラ原料化・プラ商品化）がなされるが、使用済品と同製品となる割合は少なく、むしろカスケード利用が主である。これはマテリアルリサイクルによる再生品は石油由来材料と同品質を保つことが難しく、かつコスト競争力も弱いことが理由である。使用済品の38%<sup>(10)</sup>はPETボトルであるが、これが通常のマテリアルリサイクルにより再びPETボトルになることは品質、衛生上困難で、繊維（衣料品、カーペット）やシート（卵パック）など、9割以上が他用途製品となり、その製品寿命も需要量も大きく異なってしまうのである。それでもマテリアルリサイクルは製品として直接再生利用されることと、リサイクル時のエネルギー負荷が一般に小さいことを理由として、残り2つのリサイクルに対して政策的、経済的に優遇され、奨励されている。ただし近年、石川らによって「必ずしもマテリアルリサイクルがエネルギー的に優位とは限らない」<sup>(11)</sup>という報告もなされている。

これらのことを総合して考えると、有効利用率の上昇は「プラスチック処理は無駄だからただ燃やせばよい」との巷で見受けられる安易な主張とは一線を画す効果が期待できるとはいえ、効果は限定的である。むしろ現行の分類基準によるリサイクル政策は、技術上の違いのみに終始しており、目的とされる真の循環への道標となっていないと考えられる。これは今後リサイクル技術の発展をも封じ込めてしまう危険をはらんでいる。

## 4. PETボトルの現状

### 4.1. PETボトルの登場

数あるプラスチック製品の中で、PETボトルは現代社会のニーズに対応する形で登場してきた。PETボトルの歴史をPETボトルリサイクル推進協議会の年次報告書の年表<sup>(12)</sup>からひもとくと、我が国ではPETボトルは1977年にしょうゆ容器として売り出されたのが最初となっている。その後、1982年に飲料容器として認められて以来、PETボトルは軽くて携行に便利であり、かつコンビニエンスストアやスーパーマーケットなどで手軽に入手できることから、ワンウェイ容器としてそのシェアを急増させてきた。特に海外からの500mlPETボトル輸入が急増した背景から、1996年を境に業界は500mlPETボトルの販売自粛の自主規制を解除し、その結果、現在に至るまでその生産量は増加の一途をたどっている。現在ではボトル用PET樹脂需要のうち、93.6%が清涼飲料用に製造されている。図4-1に1995年からの清涼飲料用ボトル需要量の推移を示した。2007年まではほぼ直線的に増加していることがわかる。このグラフはPETボトルの市場が十分に大きく、同材料として循環させる意義があることを示唆している。

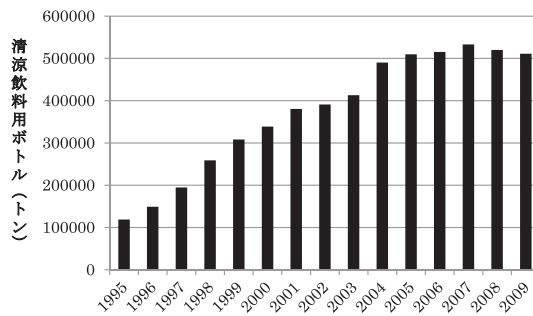


図4-1 清凉飲料用 PET ボトル需要量 (PET ボトルリサイクル年次報告書 2001 年度, 2010 年度より作成)

#### 4.2. PET ボトルのリサイクル

種々のプラスチック材料から成る製品のうち、PET ボトルは比較的単純なつくりでできている。通常、ボトル本体がポリエチレンテレフタレート (PET) で、キャップ、ラベルは別素材であるが、それらは手作業で容易に分離させることができる。充填物もほとんどの場合液体であるため洗浄し易く、比較的簡単に適切な分別処理指導を行える利点を持つ。

このため生活者レベルではプラスチック材料の中では最もリサイクルしやすい素材と捉えられ、「ペットボトル＝リサイクルされるもの」という認識もすでに一般化している。これについては業界が立ち上げた PET ボトルリサイクル推進協議会を中心に、リサイクル活動の適正化、ならびに生活者への啓蒙活動が進められており、その回収率は目覚ましく上昇し、瞬く間に世界最高水準となった。図4-2 に PET ボトルリサイクル推進協議会が発表した回収率の推移を示す。このグラフにおいて 2004 年までと 2005 年からは回収率の定義が変わっている。これは回収率計算において分母に来る部分を、これまで PET ボトル用樹脂生産量としていたものから指定 PET ボトル販売量に変えることで、輸入 PET ボトルなどの影響も加味して現実的なものとする措置である。そのため厳密にはこの間で回収率の値の連続性はないが、右肩上がりである傾向に変化はない。1996 年当初は欧米に比較して低い回収率であったが、順調に回収率を高め、2009 年のデータでは 77.5% と世界最高水準の値を示している。ただし回収率と厳密な意味での実質有効利用率とは異なり、リサイクルシステムの中身の充実には今後も課題を残している。

多くの場合、PET ボトルは使用后、店頭での PET ボトル専用回収 BOX での回収、あるいは家庭での分別を経て自治体による分別回収が行われている。前者は事業系ルート、自治体回収に関しては容器包装リサイクル法に則って、①指定法人ルート、②独自ルートの 2 つのルートでリサイクルされることになる。容器包装リサイクル法の要はこの指定法人ルートであり、ここを通して再生処理業者へと廃 PET ボトルが渡る仕組みとなっている。このシステムが規定された当時、多くの自治体では回収した廃 PET ボトルが溢れ、処分場のひっ迫が懸念

されていた。そのため、自治体から再生処理業者に廃 PET ボトルを引き渡し、再生処理業者は逆有償の形で得た処理費用をもってリサイクルにかかる上積みコストを補い、石油由来 PET 製品と同等の価格設定にするという事業モデルの構築が念頭にあった。これにより自治体、再生処理業者双方にとってメリットのある形で、廃 PET ボトルが安定的にリサイクルされるシステムが成立すると考えられたのである。

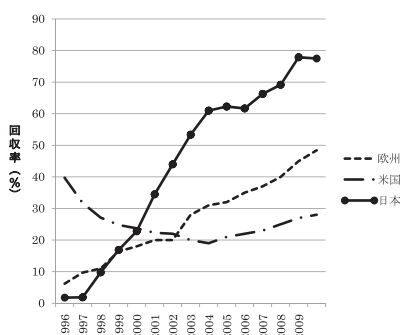


図 4-2 PET ボトル回収率の世界比較 (PET ボトルリサイクル年次報告書 2001 年度版, 2010 年度版より作成)

再生処理業者は他のプラスチック同様、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルなどの種別ごとに指定を受け、入札形式によって落札量を決定する。有効な再生製品が同条件で販売できる前提が成立するならば、一般的にはマテリアルリサイクルはケミカルリサイクルに比べて環境負荷が小さいと考えられている。しかし廃 PET ボトル品質のばらつきによる品質低下や分別時の処理の難しさから効率的な完全循環（この場合は PET ボトルとしての再生）が困難である。前節でも述べたように、製品の完全循環がひとつのリサイクルシステムの理想形であり、そのためには本来の意味でのケミカルリサイクル、すなわち、石油由来材料と同等の品質をもった原料化が必要と考えられる。

#### 4.3. ケミカルリサイクルによる原料化

さて、このような製品原料化を主眼としたケミカルリサイクルを“Genuine Recycle”と位置づけ、その成立と経緯を調査した。すでに述べたように PET ボトルはプラスチック製品の中では最もリサイクルシステムの整ったものである。さらに需要の拡大から PET ボトルの“Genuine Recycle”は循環型社会構築の中で重要な位置を占めるものと期待される。このような状況の中、化学分解法により PET ボトルから PET ボトルを再生する（ボトル to ボトル）という画期的な技術が開発された。この手法として代表的な 2 つの技術について、PET ボトルリサイクル推進協議会発行の『PET ボトルリサイクル年次報告書 2004 年度版』に説明がある。ひとつは帝人ファイバー方式と呼ばれる繊維 to 繊維方式の応用で、テレフタル酸ジメチル（DMT）とエチレングリコール（EG）に化学的に分解し、DMT をさらに PET 原

料のテレフタル酸 (TPA) にまで変換する手法である。2段階精製により不純物を徹底的に除去し、石油から合成した原料と同等品質の原料に戻すことができる (向井 2007: 41)。もう一つの方法はアイエス法と呼ばれ、PET 樹脂の構成要素の EG と微量の触媒だけで解重合したビスヒドロキシエチルテレフタレート (BHET) を得た後、再重合して PET ボトル用樹脂に再生する方法である (杉本 2004: 268)。帝人ファイバー方式に比べ工程が少なく、エネルギー効率もよいとされている。さらに同様に異種プラスチックが混在していても、PET 樹脂換算ではほぼ 100% の再生効率を誇り、内閣府食品安全委員会での食品健康影響評価の審議結果では容器包装として使用可能であると評価<sup>(13)</sup>されている。

2003 年帝人ファイバー (株) が前者の技術を用い、また 2004 年ペットリバース (株) が後者の技術を用い、“Genuine Recycle” としてのボトル to ボトル事業を開始した。事業規模は帝人ファイバーが 62,000 t/年、ペットリバースが 27,500 t/年とされた。2004 年度の指定 PET ボトル用樹脂に占めるこれらボトル to ボトル樹脂の割合は 4.5% の実績を残している。このように目的、技術の点で卓越した “Genuine Recycle” について、さきの事業モデルを背景に今後の発展が期待された。ところが図 4-3 に示すように、直後に廃 PET ボトル市場に異変が生じることになる。この主原因は中国の旺盛な廃 PET ボトル需要による独自ルート枠の拡大である。これによりシステム発足当時の余剰廃 PET ボトルの多くは材料輸出という自治体に収入のある形で取引されることになった。また、このシステムに多様な事業者が相次いで参入したことも落札環境を悪化させたと言える。これに呼応するように指定法人ルートの取引量は減少し、再商品化委託費も下落を続け、ついに 2006 年からはマイナス (つまり再生処理業者が金銭を支払って購入する形) での取引となった。このためこの 2 社のシステムは収益の面で採算性を維持できず、2005 年にペットリバースは民事再生法を申請、さらに 2008 年帝人ファイバーは 6 月に操業停止、10 月に事業休止を決定した。ペットリバースの事業については 2008 年 6 月の破産申請後、別会社が事業継承を行い、2008 年 10 月からペットリファインテクノロジー (株) が新たに、国内唯一のボトル to ボトル事業を担っている。再稼働に

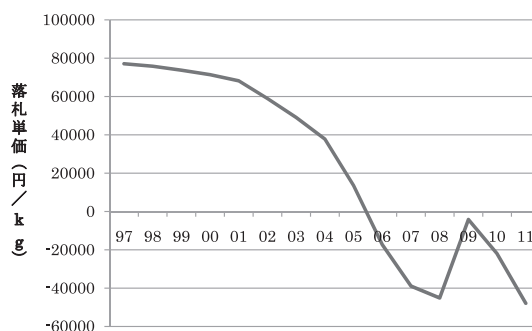


図 4-3 PET ボトル落札単価 (加重平均) の推移 (2011 年度日本容器包装リサイクル協会統計資料より作成)

あたって事業規模も受け継ぎ、使用原料入荷量 27,500 t/年に対して、最終製品出荷量は 23,000 t/年となっている。しかし図 4-3 で明らかなように再商品化委託費は 2011 年現在でもマイナスのままであり、事業を取り巻く環境が改善されたわけではない。

このグラフにおいて 2009 年に落札単価が大きく戻っているのはリーマンショックに端を発した世界同時不況の影響である。これにより廃 PET ボトル取引市場に大きな混乱が生じたのは記憶に新しい。一時的に中国輸出が滞り、国内に行き場を求めたものの、廃 PET ボトルの突然の還流に対処できる処理施設は少なく、国内リサイクルシステムの脆弱性を露呈することとなった。しかし中国の旺盛な経済成長力から廃 PET ボトル輸出量は驚異的と呼べるほどの短期間で回復し、結果的に年ベースでの輸出量の増加基調はゆるがなかった。さらに中国政府は 2009 年には PET ボトルの未破砕品であるバール輸入も解禁したため、今後の廃 PET ボトル流出の加速が懸念されている。独自ルートを通じた中国輸出により、個別の市町村にとって近視眼的には処理負担の補てんが可能と捉えられているが、総合的に見て、この状況が継続することは国内リサイクルシステムの崩壊にもつながりかねない。グローバル化した市場経済の負の影響が大きすぎる現状を深刻にとらえ、容器包装リサイクル法の在り方を含めて早急に検討すべき課題であると考えられる。

## 5. “Genuine Recycle” に対する障壁

### 5.1. 原料化ケミカルリサイクルの課題

前節でプラスチックの中で最もリサイクルの進んでいる PET ボトルに絞って現状を記述した。ここでは将来を嘱望されたボトル to ボトル技術を取り巻く課題について検証してみたい。重要となるのは、技術の目的合致性、再生材料と石油由来材料間で比較したエネルギー負荷効率、ならびに事業採算性である。

第一に、ケミカルリサイクルは工程処理に化学分解を含むため、マテリアルリサイクルに比して原料純度に関しては許容範囲が広いと言われている。事実、事業系ルートからの廃 PET ボトルは指定法人ルートに比べて品質が悪いと言われているが、それらの受け入れも技術革新によって大幅に改善した。さらに前節でも指摘したように、原料化を目的とするこの技術は、従来のケミカルリサイクルのカテゴリーの中であまり注視されていないため、「再生製品＝マテリアルリサイクル製品」という図式からの脱却につながらず、優先レベルを見直す議論が起らないことが問題である。需要が増大し続けている PET ボトルにおいて“Genuine Recycle”が可能であることは、今後の真のリサイクルシステムを確立する意味でも重要であるため、廃 PET ボトルの安定的確保に対する社会的コンセンサスが必要である。

第二にエネルギー負荷に関して、この技術はライフサイクルインベントリ（LCI）分析によるエネルギー負荷比較によっても工程エネルギーにおいて遜色なく、資源エネルギーが必要と

されない分有利となり、ほぼ半分の値になること<sup>(14)</sup>が示されている。ただし LCI についてはシステム限界の捉え方、条件設定、データの取り扱いなどが異なると結果が変わるため、単純な数値比較だけで議論できないという指摘もある。その点では今後 LCA 手法の統一や情報公開、複数の計算手法による検証などが必要ではある。また廃 PET ボトルの回収、運搬に係るエネルギー負荷についての見積も必要となり、製造拠点と回収経路の適正規模の検討など、解決すべき課題は多いと思われるが、この点に関してはシステムが安定的に稼働することと連携して改良されるべきものであろう。

続いて事業採算性の問題である。帝人ファイバーの撤退、ペトリバースの倒産に見られるように、技術的、エネルギー的には優れているはずの本技術が現段階で事業モデルとして成立していないことは明らかである。当時のペトリバース（株）社長が行った記者会見<sup>(15)</sup>によるとバージン原料からの PET ボトル生産に比べ、同社の事業規模では2割増しのコストがかかると公表されている。当初、この割増コスト分を容器包装リサイクル法の規定する再商品化委託料により補うという戦略が想定されていた。ちなみに同会見によると、80,000 t 規模のプラントが安定的に稼働する場合には再商品化委託料なしでも事業モデルは成立するとしている。しかし上記の報告から、スケールメリットを行使するだけの規模を維持できない状況が浮かび上がる。

これらのことから現段階での“Genuine Recycle”モデルの確立には経済的要因がボトルネックになっていることが明確に示された。容器包装リサイクル法の下で想定された再商品化委託料の見通しが立たない今、いかにしてその費用を確保するかが重要な問題である。市場経済に任せた形での事業発展シナリオでは、当面の原油価格では対抗できないこと、また旺盛な中国輸出に歯止めがかからないこと、などから収益改善は見込めない。今後中長期的には明らかにこの状況は変化していくことが予想されるが、原油価格の上昇や中国取引量の減少などは時期、量ともに不確定要因に左右され、またその変化も急激になる可能性が高い。

## 5.2. オルタナティブな仕組みづくり

そこで別な形で再生原料ならびに運用資金をカバーするオルタナティブな仕組みづくりが必要と考えられる。ここでデポジット制度との連動活用を検討してみたい。沼田が過去の国内外の研究から正負の影響を整理したものを表5-1に示す。まずもっとも重要な点が、正の影響(1)にあるように、「デポジット額とリファンド額を適切に設定することで社会的に最適な状態の達成が可能であることが理論的に静学によっても動学によっても示されている」ことが明らかとなっていることである。そしてデポジット制度導入後、「デポジット制度に対する消費者の支持は一般に高い」ことは仕組みへの生活者の参入が良好に行われることを意味している。負の影響(1)の部分に関しては、“Genuine Recycle”と組み合わせることでシステム構築が可能と考えられる。すなわち、PET ボトルの回収率の向上が期待でき、その回収ボトル

を指定法人あるいは新たな第三者機関が一元管理し、再生処理業者へ最適配分することで安定量確保の道が開ける。加えて、「未返却預り金の使途に関する問題」についても、再商品化委託料としての支出と規定すれば、結果的にボトル to ボトルリサイクルの進展に貢献することが期待できる。

表 5-1 先行研究のサーベイによるデポジット制度の正負の影響  
(沼田 2008：表 2, 表 3 引用)

正 (1)	社会的に最適な状態の達成が可能
正 (2)	効果的な監視システム
正 (3)	消費者の高い支持が得られる
正 (4)	環境に望ましい効果がある
	(a) 高い回収率の達成が可能
	(b) リサイクルの増加, 資源の節約
	(c) 廃棄物, 埋立, 不法投棄の減少
負 (1)	システムの構築とそれに伴う費用が発生する
	(a) 回収した使用済みの財の保管および処理に伴う問題
	(b) デポジットおよびリファンドの収受に関する仕組みの構築
	(c) 未返却預り金の使途に関する問題
負 (2)	制度対象財の需要の減少
負 (3)	既存の回収システムへの影響
負 (4)	デポジット制度未導入地域からの流入および未導入地域への流出

もちろんこれらの施策を効果的に進めるためには未だ乗り越えるべき様々な課題があることも事実である。負の影響 (2) にみられる制度対象財の需要の減少への懸念からメーカーが消極的になる現状, さらに負の影響 (4) にみられる導入の有無による地域間不整合の問題などである。これらについては、ドイツで先行して行われている飲料容器デポジット制の事例分析などを通して、今後検討していきたい。いずれにしろ現状では市町村の抱える処理コスト増の重荷, 再生処理業者の体力消耗, あいまいなリサイクル境界から生じる生活者の仕組み理解の困難さなどシステム全体が機能不全を起こしている状態であり、検討を始める価値はあると考える。

このようなオルタナティブな仕組みづくりを成功させるためには、まず“Genuine Recycle”の概念が社会的に受け入れられる素地づくりが必要である。2011 年、サントリーは「リペットボトルの導入」と称して PET ボトルの B to B メカニカルリサイクルシステムを構築<sup>(16)</sup>したと発表した。これは高度なマテリアルリサイクルと位置付けられるもので、これまで述べてきた原料化ケミカルリサイクル技術とは別であるが、理念の上では方向を一にするも



のと考えられる。このような形で“真の循環が繰り返されることこそリサイクルである”という認識を定着させることが今後重要なのではないだろうか。

## 6. おわりに

容器包装リサイクル法では第一章 総則 第一条において、「この法律は、〈中略〉 廃棄物の適正な処理及び資源の有効な利用の確保を図り、もって生活環境の保全及び国民経済の健全な発展に寄与することを目的とする。」と規定している。しかし本稿の検討により、現時点では、中長期の視点での国民経済の健全な発展どころか、有効な国内循環システム樹立すらサポートできていないことが明らかとなった。

まずプラスチックのリサイクルシステムは工程における技術的な視点を中心に分類されているため、再生後の用途が他の分類によるものと重なりもあり、このことが一般生活者にはわかりにくい構造になっていることが分かった。加えて現時点では、本来の意味での循環利用がなされているものは少なく、中でもケミカルリサイクル技術はエネルギー利用に供される原料づくりが主である。そこで回収プラスチック製品が同じものとして再生される、いわゆる真の材料リサイクルを目指す視点が不十分であるとの結論を得た。しかしその目的を達成するために有力な技術である材料原料化ケミカルリサイクルが事業として成り立たない現状がある。この“Genuine Recycle”を軌道に乗せるためには、その重要性が社会的に認知される必要があると考えられる。その方策としてデポジット制と連動する形で仕組みづくりを進める可能性について検討した。

今後は、技術によって克服される部分、仕組みづくりによって乗り越えるべき部分をしっかりと見極め、循環資源の利用が一層促されるインセンティブを造り出す必要がある。そのためにはこれまでのマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルの枠組みだけで政策を仕切るやり方を今一度見直し、リサイクル後の再生利用を基準とした体系を加味した仕組みを作るべきである。その中で、マテリアルリサイクルによるカスケード利用のみを前提にするのではなく、目的に合致した品質を見極めたうえで、適材適所へのリサイクル技術の応用を柔軟に議論する必要がある。

### 〔注〕

- (1) ただし「生活者」という表現自体は最近新たに登場したものではない。天野によるとその起源は①生活文化論、②消費社会論、③「新しい社会運動」論など3つの分野に大きく括られる。①は戦時体制下では三木清と新居格、戦後混乱期では今和次郎、「思想の科学」運動などに代表される概念である。ここでは前者は時局の要求する生活から自律的な生活をめざす生活創造者を目指している。後者では自前のことばと思想を創出する「個人」が強く意識される。②は高度経済成長期前後に現れた溝上康子、大熊信行らに代表される概念である。ここでは生産と消費の統一体としての「生活」主体者をめざす。③はその後、現在に至るまでの時期を中心にベ平連、生活クラブなどに

代表される概念である。ここでは自らの「生活現場」からの発現を重視し、既存の秩序と価値に対抗的な視点を見出している。

- (2) この統計資料によると米国の処理量は群を抜いており、2位である日本とドイツに比べ、約4倍量になっている。ただし、一人あたりのごみ排出量に換算すると欧州各国は軒並み高く、日本はスイス、ドイツ、フランス、イギリス、イタリア、スウェーデンに続いて第8番目になる。（プラスチック処理促進協会：<http://www.pwmi.or.jp/>）
- (3) プラスチック処理促進協会『プラスチックリサイクルの基礎知識』<http://www.pwmi.or.jp/>
- (4) 杉並区井草森周辺の住民が、化学物質過敏症に類似した健康被害を訴え続けている問題で、一般には「杉並病」と呼ばれている。1996年創業の都清掃局杉並中継所が原因物質の発生源ではないかと住民運動が起きたが、住民側の主張と都の見解が食い違い、原因についてはいまだ確定されていない。ただし周辺の大気分析からは多くの有害化学物質が検出されているとの研究も報告されている。（EIC ネット：<http://www.eic.or.jp/>）
- (5) 日本容器包装リサイクル協会 2011  
『環境配慮設計と材質表示などに関する再生処理事業者向けアンケート結果概要』
- (6) 日本容器包装リサイクル協会 2011「容り法の成果」  
<http://www.jcpra.or.jp/law/what/what05/index.html>
- (7) PET ボトルリサイクル推進協議会 2010「PET ボトル軽量化の推進」『PET ボトルリサイクル年次報告書 2010 年度版』
- (8) 沼田は経済学的視点からこれまでのデポジット制度に関する既存の研究を整理し、その得失を検討した（沼田 2008：355）。
- (9) 現在改正が議論されている廃棄物枠組指令の改正によって、Feedstock Recycle が EU においてリサイクルから外される可能性が出てきている。ドイツはこれまで家庭系プラスチック容器の約4割を Feedstock Recycle に回してきたので、この部分がリサイクル率から外れることになるが、それでも EU の目標値 22.5% は大幅に上回っているとしている。（日本容器包装リサイクル協会 2007『欧州におけるプラスチック製容器包装リサイクル状況調査報告書 概要版』）
- (10) プラスチック処理促進協会 2010『2009年プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況』における使用済み品由来分野の数値より計算したもの。2位の包装用フィルムの倍以上の量が PET ボトル由来となっている。
- (11) 日本容器包装リサイクル協会 2006『プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討（概要版）』
- (12) PET ボトルリサイクル推進協議会 2010「PET ボトル年表」『PET ボトルリサイクル年次報告書 2010 年度版』
- (13) PET ボトルリサイクル推進協議会 2004「リサイクルフロー①ボトル to ボトルの流れ」『PET ボトルリサイクル年次報告書 2004 年度版』
- (14) PET ボトルリサイクル推進協議会 2004『PET ボトルの LCI データ調査報告書』
- (15) 川崎市 HP 市長記者会見平成 17 年 6 月 20 日 <http://www.city.kawasaki.jp/>
- (16) SUNTORY ニュースリリース No.11053  
<http://www.suntory.co.jp/news/2011/11053.html>

〔参考文献〕

- 天野正子 1996『「生活者」とはだれか』中公新書  
杉本毅 2004「廃ペットボトルの再生化技術－アイエス法ケミカルリサイクルの LCI 分析について－」  
『日本エネルギー学会誌』Vol.83, No.4, pp.267-271  
西岡秀三 2008『日本低炭素社会のシナリオ』日刊工業新聞社

沼田大輔 2008 「デボジット制度がもたらす正負の影響」『廃棄物学会論文誌』 Vol.19, No.6, pp.353-363

林隆紀 2009 「材料理解が環境意識に及ぼす影響」『佛教大学社会学部論集』 第 48 号

向井浩二 2007 「ポリエステル繊維 to 繊維実現のためのケミカルリサイクル技術開発」『繊維学会誌』 Vol.63, No.10, pp.350-353

山川肇 2006 「容器包装リサイクル法の改正問題と拡大生産者責任」『廃棄物学会誌』 Vol.17, No.4, pp.174-181

〔付記〕

ケミカルリサイクル事例について有益な助言をいただいた関係者の方々に心から謝意を表します。なお本稿は平成 22 年度佛教大学特別研究費による個人研究の成果発表です。

(はやし たかのり 公共政策学科)

2011 年 10 月 18 日受理